

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIA QUÍMICAS Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA BIOLÓGICA**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem in the background. It features a central figure of a man on horseback, holding a staff, surrounded by various symbols including a crown, a lion, a castle, and a mountain. The Latin motto "OBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERAS" is inscribed around the perimeter of the seal.

**Determinación de la contaminación del aire por hongos
microscópicos en dos museos de la ciudad de Guatemala**

**Presentado por
Maritza Haydee Moreno Batres**

Julio Alberto Paxtor Caté

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE
QUÍMICO BIÓLOGO**

Guatemala, marzo 2014

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Manuel Cóbar Pinto, Ph.D.	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto. M.A.	Secretario
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal
Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares	Vocal II
Lic. Rodrigo José Vargas Rosales	Vocal III
Br. Lourdes Virginia Nuñez Portales	Vocal IV
Br. Julio Alberto Ramos Paz	Vocal V

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por guiar nuestros pasos y permitir alcanzar esta anhelada meta.

A NUESTROS PADRES

Por brindarnos su amor incondicional y apoyarnos en cada etapa de nuestras vidas.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por ser nuestra alma mater e iniciarnos en el camino de la ciencia

A LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, EN ESPECIAL A LA ESCUELA DE QUÍMICA BIOLÓGICA

Por brindarnos los conocimientos para formarnos como profesionales

A NUESTRA ASESORA

Dra. Karin Herrera, por brindarnos su orientación, asesoría y compartir su conocimiento

A NUESTRA CO- ASESORA

MA. Wendy Chamalé, por acompañarnos durante esta etapa y brindarnos sus consejos.

A NUESTRA REVISORA

Licda. María del Carmen Bran, por compartir sus conocimientos.

Al Museo de la Universidad de San Carlos y al Museo de Historia Natural

Por su colaboración en la realización de la presente investigación.

ÍNDICE

I.	Resumen	1
II.	Ámbito de la investigación.....	3
III.	Antecedentes.....	4
A.	Ubicación del Estudio.....	4
B.	Calidad del aire.....	5
C.	Calidad de aire en Guatemala	6
D.	Hongos.....	8
E.	Calidad del aire en ambientes interiores	12
F.	Determinación de carga fúngica	14
IV.	Justificación.....	16
V.	Objetivos.....	17
VI.	Hipótesis.....	18
VII.	Materiales y métodos	19
A.	Universo.....	19
B.	Muestra.....	19
C.	Recursos	19
D.	Metodología	20
E.	Diseño de la investigación	24
VIII.	Resultados	25
IX.	Discusión de resultados.....	31
A.	Museo De La Universidad De San Carlos –MUSAC-	31
B.	Museo De Historia Natural –MUSHNAT-	34
X.	Conclusiones	37
XI.	Recomendaciones	38
XII.	Referencias	39
IX.	Anexos	44
A.	Diseño del MUSAC y puntos de muestreo.....	44
B.	Diseño de la Biblioteca del MUSAC y puntos de muestreo.....	45
C.	Diseño del Vestíbulo del MUSAC y puntos de muestreo	46
D.	Diseño del–MUSHNAT- y puntos de muestreo.....	47
E.	Caracterización macroscópica	48

I. RESUMEN

El siguiente seminario se derivó del proyecto FODECYT 28-2011 “Evaluación de la calidad del aire en algunos museos y herbarios de la ciudad de Guatemala”, en dicho proyecto se investigó la calidad del aire de algunos lugares de importancia científica y cultural para Guatemala, entre los lugares estudiados se encontraban el Museo de la Universidad de San Carlos –MUSAC- y el Museo de Historia Natural–MUSHNAT-. El objetivo fue la determinación de la contaminación por hongos microscópicos presente en el aire del ambiente interior y exterior de ambos lugares, además de identificar los géneros frecuentes, el estudio fue de tipo descriptivo y se utilizó el método volumétrico de impactación para la recolección de las muestras sobre agar Sabouraud con NaCl al 7.5%. Inicialmente, se realizó un muestreo para establecer la hora de mayor contaminación fúngica en cada uno de los museos para posteriormente realizar muestreos periódicos.

La hora en la cual se encontró mayor contaminación fúngica en el interior del MUSAC y el MUSHNAT fue las 13:00 horas, mientras que en los ambientes exteriores de ambos museos se encontró la mayor contaminación a las 14:00 horas. Durante los muestreos mensuales (octubre 2011 a marzo 2012) en el MUSAC se estableció la mayor contaminación de ambos ambientes en diciembre, se registraron valores de $970 \text{ UFC/m}^3 \pm 19$ de desviación estándar y $790 \text{ UFC/m}^3 \pm 24$ para el interior y exterior, respectivamente. Con relación a la biblioteca de MUSAC, en el interior se registró la mayor contaminación en octubre con un valor de $1230 \text{ UFC/m}^3 \pm 32$ sin embargo, en el exterior el máximo valor se estableció en diciembre ($1010 \text{ UFC/m}^3 \pm 24$). Con respecto al MUSHNAT, el valor de mayor carga fúngica en el interior fue de $2570 \text{ UFC/m}^3 \pm 121$ durante octubre, mientras que para el exterior fue en diciembre con un valor de $1540 \text{ UFC/m}^3 \pm 56$.

Los géneros que presentaron mayor frecuencia en ambos museos durante el estudio fueron en orden decreciente: *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp., mientras que en una menor proporción se aisló *Fusarium* sp. y *Rhizopus* sp., y algunas levaduras como *Rhodotorula* sp. y *Cryptococcus* sp. La presencia de estos géneros fúngicos y los recuentos encontrados en el aire demuestran la contaminación provocada por hongos microscópicos, y la necesidad de tomar medidas preventivas que eviten su

desarrollo y de esta manera mantener en buen estado las colecciones que poseen ambos museos además de la infraestructura del lugar.

II. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

Los museos son lugares donde se guardan y exhiben colecciones de objetos de interés artístico, cultural, científico e histórico entre otras. En Guatemala existen varios museos, entre los cuales están El Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala -MUSAC- que se encuentra ubicado en el Centro Histórico de la ciudad y el Museo de Historia Natural -MUSHNAT- ubicado en la zona 10.

El Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala -MUSAC- creado en 1981, cuenta con exposiciones de carácter científico, histórico, artístico, tecnológico y cultural, la mayoría de estas exposiciones son de forma temporal, por lo que a lo largo del año puede haber variedad de piezas en exposición. De forma permanente cuenta con una colección de 6500 volúmenes de libros, que datan desde el año de 1950. Esta colección de libros se encuentra en la Biblioteca del libro Antigua, la cual forma parte del Museo.

El Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos -MUSHNAT- ubicado dentro de las instalaciones del edificio del Jardín Botánico, cuenta con una infraestructura antigua. Este museo cuenta con 12 salones, en los cuales se hallan en exposición diferentes tipos de piezas que van desde animales hasta minerales. Estas piezas de colección son reemplazadas o reparadas cada cierto tiempo, debido a la falta de fondos, muchas de ellas no se les dan el tratamiento correcto.

Como parte del proyecto FODECYT 28-2011 “Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en algunos museos, herbarios y colecciones de interés científico en la ciudad de Guatemala”, se desprendió esta investigación, enfocándose principalmente a los museos antes mencionados.

Se investigó la contaminación microbiológica del aire presente en cada museo, tomando en cuenta características como, tipo de edificación (infraestructura, ubicación y antigüedad), el mantenimiento y conservación de las piezas, ya que el escaso presupuesto asignado para llevar a cabo estas actividades hacen a estos edificios propicios para el desarrollo de hongos microscópicos que en algunos casos pueden ser agentes de deterioro, dañando las piezas que ahí se exponen.

III. ANTECEDENTES

A. Ubicación del Estudio

1. Museo de la Universidad de San Carlos -MUSAC-

El Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encuentra ubicado en la 9 avenida y 10 calle zona 1. La construcción se remonta a 1779, con el traslado de la ciudad de Guatemala, sin embargo diversos terremotos que han afectado el territorio nacional, además del paso de los años, han hecho necesario la remodelación del mismo en varias ocasiones, fue en 1985 la última vez que se realizaron remodelaciones o medidas de rescate de la infraestructura (Redcamus, 2010).

Es una unidad del servicio de Dirección General de Extensión de la Universidad y fue creado por el Consejo Superior Universitario en 1981, para lo cual se designó el antiguo edificio Universitario para su funcionamiento. Por su carácter académico, se promueven actividades de carácter científico, histórico, artístico, tecnológico y cultural; para esto cuenta con cinco salas de exhibición, las cuales varían en contenidos, cada tres o cuatro meses (Redcamus, 2010).

Los alrededores de este lugar son muy transitados por vehículos y por lo general también tiene mucha afluencia peatonal; debido a la ubicación del edificio existe contaminación ambiental (Laboratorio de Monitoreo de aire, 2010).

2. Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos -MUSHNAT-

El Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos se ubica en la Calle Mariscal Cruz 1- 56 zona 10. Este museo inicio actividades en el año 1989 cuando se iniciaron las diferentes colecciones científicas que poseen, en la actualidad se cuenta con unos 53,270 ejemplares entre minerales y fauna del país. Este museo cuenta con una afluencia de unos 300 estudiantes al día durante el periodo escolar, además cuenta con tres técnicos de museo que laboran en el lugar. Los alrededores del museo son principalmente flora que es parte del Jardín Botánico, por lo que cuenta con afluencia de animales como aves e insectos (de León, 2011, marzo 11).

B. Calidad del aire

1. Definición de aire

El aire atmosférico es una mezcla de componentes naturales gaseosos, sólidos y líquidos, que muchas veces va acompañado de componentes no naturales generados en las actividades humanas, como lo son los agentes contaminantes. Los principales compuesto que forman parte del aire atmosférico son N_2 y O_2 , aunque no son los únicos (Sáenz, 2002).

La calidad del aire puede ser evaluada mediante indicadores tales como el Índice de Calidad del aire –ICA-, el cual ha sido implementado por agencia de protección Ambienta de los Estados Unidos –EPA- y es utilizado para monitorear contaminantes regulados y de los cuales se han establecidos normas que intentan proteger la salud de daños asociados a estos. Los indicadores permiten evaluar la situación de contaminación atmosférica o de un ambiente en particular, por este motivo es necesario evaluar los contaminantes para determinar la calidad del aire de un determinado lugar (Zuck, Tzintun y Rojas, 2007).

Además, la calidad del aire de los ambientes internos puede estar influenciada por distintas partículas suspendidas en la atmósfera tales como el polvo, polen, bacterias, hongos, virus, y estos a su vez pueden causar daños a los documentos y presentar reacciones alérgicas en las personas que trabajan con éstos ambientes (Tolozá y Lizarro, 2011).

2. Contaminación del aire

El término contaminación es utilizado para describir la presencia de contaminantes en la atmósfera, es decir aquel aire que contiene suspensión de partículas de polvo, humo, microorganismos y gases que no se encuentran normalmente en él y que pueden ser nocivos para la salud (Korc y Sáenz, 1999)

La calidad del aire se ve deteriorada debido a la combinación de factores de origen natural o antrópicos, especialmente aquellos que son originados por las industrias, por este motivo es necesario un monitoreo constante de contaminantes

presentes en el aire, ya que cada año las ciudades crecen, por lo que las emisiones de contaminantes aumenta proporcionalmente (Universidad Rafael Landívar [URL], 2003).

Existen tres clases de contaminantes: los químicos; entre los que se pueden mencionar las partículas totales en suspensión, el dióxido de nitrógeno NO₂, dióxido de azufre SO₂, etc (Laboratorio de Monitoreo de aire, 2010), los físicos estos están constituidos por los estados energéticos que tienen lugar en el medio ambiente y los biológicos los cuales son los de mayor interés en el estudio entre estos están los hongos, bacterias, virus y parásitos; estos microorganismos pueden atacar no solamente objetos sino también tener repercusión sobre la salud humana (Cortez, 2007).

C. Calidad de aire en Guatemala

1. Estudios previos

La contaminación del aire es uno de los indicadores que sirve de referencia para medir el estado del ambiente en el país, sin embargo es uno de los aspectos menos estudiados en Guatemala, esto debido a que los síntomas en el ser humano no se presentan de manera inmediata a la exposición sino después de un periodo de exposición prolongado (Oliva, 2008). La importancia de llevar a cabo monitoreos de calidad de aire consiste en que estos son una herramienta para las autoridades ambientales en la labor de protección de la calidad del medio ambiente, además contribuye a la toma de decisiones en proyectos de cuidado ambiental (URL, 2003).

En la ciudad de Guatemala se realiza monitoreo de calidad de aire tanto por el Instituto Nacional de Vulcanología, Meteorología e Hidrología, -INSIVUMEH y el laboratorio de monitoreo del aire a cargo de la Facultad de Ciencia Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. No obstante, ambas instituciones realizan un monitoreo de aire de algunos contaminantes químicos, y aun no realizan monitoreo de contaminantes biológicos como los hongos microscópicos.

Por otra parte, se pueden mencionar dos estudios realizados en el departamento de Guatemala en los cuales se determinó la carga fúngica en ambientes interiores y exteriores. El primero se realizó durante el 2008, en el cual se muestrearon ocho locales, de los cuales siete se encontraban dentro de la Universidad de San Carlos de

Guatemala -USAC-, (Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR-, Laboratorio de Investigación de Productos Naturales –LIPRONAT-, Decanatura, Laboratorio de Alimentos, Rectoría, Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas –IIQB- y Biblioteca Central) y uno se ubicó en el centro de información y Atención Toxicológica - CIAT- en la antigua Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC, zona 1. Los resultados demuestran que el LIPRONAT, el laboratorio de alimentos y el IIQB, presentan valores que ponen en riesgo la salud ocupacional. Por otra parte, los géneros identificados fueron: *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Monilia* sp. Además se identificaron las siguientes levaduras: *Trichosporum* sp. y *Rhodotorula* sp. (Herrera y otros, 2011)

En el año 2009 se publicó otro estudio denominado: “Impacto de la calidad microbiológica del aire externo en el ambiente interno en la salud del personal de cuatro laboratorios de instituciones públicas en la Ciudad de Guatemala y Bárcenas Villa Nueva”. Los laboratorios incluidos en este estudio fueron LAFYM, EMPAGUA, LAMIR localizados en la ciudad de Guatemala y AMSA que se ubica en Bárcenas, Villa Nueva. Los resultados indican que el laboratorio que presentó mayor carga fúngica en el aire interior a lo largo del estudio fue EMPAGUA (8100 UFC/m³) y en el aire exterior AMSA (14461 UFC/m³). Estos valores presentan un riesgo para la salud ocupacional del personal, ya que sobrepasan la norma aplicada (2000 UFC/m³). En cuanto a la carga bacteriana todos los laboratorios se encontraron debajo de la norma aplicada (1000 UFC/m³). Los géneros fúngicos que predominaron fueron: *Cladosporium*, *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp., y bacterianos: *Staphylococcus* sp. y *Bacillus* sp. (Herrera y otros, 2009)

2. Legislación sobre calidad de aire

Guatemala no cuenta con normas que rijan la calidad microbiológica del aire, aunque existe La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, la cual en el Decreto Legislativo 68-86, establece las bases para prevenir la contaminación atmosférica y mantener la calidad del aire en términos de regulación, monitoreo e investigación de fuentes de contaminación atmosférica. Esta misma ley promueve alternativas que reduzcan la contaminación, no obstante esta legislación no considera los ambientes interiores (Congreso de la república de Guatemala, 1986). Sin embargo,

algunas empresas realizan monitoreo del aire y se basan en la normativa de EPA para evaluar los niveles de contaminación

D. Hongos

Los hongos se ubican en el reino *Fungi* que incluye microorganismos unicelulares o pluricelulares eucariotas carentes de tejidos y de tamaños y formas variadas que tienen su hábitat fundamentalmente en la tierra y los vegetales, sobre todo en lugares húmedos. Muchos de ellos ejercen efectos beneficiosos, pero hay otros que producen enfermedades (Negroni, 2009). La taxonomía clásica de los hongos se ha basado, en gran medida, en la morfología y la forma de reproducción de esporas; sin embargo, hoy en día se tiene cada vez más en cuenta sus características ultra estructurales bioquímicas y moleculares, las cuales obligan a modificar la designación taxonómica inicial, la clasificación más sencilla, basada en aspectos morfológicos, agrupa a los hongos en levaduras y formas miceliales (Murray, 2002).

1. Descripción de géneros fúngicos

Según estudios los hongos están presentes en el aire tanto de ambientes interiores como exteriores, estos podrían causar daño en la salud como en el material presente en el interior de una habitación. Por esta razón se han realizado estudios en donde se han determinado los géneros fúngicos más frecuentes, entre los que se mencionan: *Rhizopus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Mucor* y *Aspergillus* (Bueno, Silva y Oliver, 2003). A continuación se hará una breve descripción de cada uno de estos géneros.

1.1 Aspergillus

Es un género amplio de hongos filamentosos, se han descrito más de 250 especies de *Aspergillus*, las cuales se encuentran organizadas en subgéneros y secciones, basados en morfología, metabolismo y características moleculares. Este género se caracteriza por presentar una célula troncal o pie de la cual sale el conidióforo sin ramificaciones. Se reproduce a través de la formación de esporas micóticas al final del conidióforo (Revista iberoamericana de micología, 2002).

La producción de estas esporas es usualmente abundante, lo que hace a *Aspergillus* uno de los hongos más comunes sobre la faz de la tierra debido a su capacidad para crecer sobre sustratos con diverso contenido de humedad. El rango de temperatura va desde 0-5°C hasta 50-55°C, estando el óptimo entre 30 y 33 °C para la mayoría de las especies (Revista iberoamericana de micología, 2002).

En medios de cultivo forman colonias de crecimiento rápido, de textura variable (aterciopelada, granular, algodonosa) y con muy variadas coloraciones: blanco o verde-azulado (*A. Fumigatus*), verde-amarillento (*A. Flavus*), negro (*A. Niger*), marrón (*A. Terreus*). Esta coloración aparece casi siempre en todas las estructuras aéreas, tanto en el micelio como en las cabezas conidiales (Revista iberoamericana de micología, 2002).

1.2. *Penicillium*

Estos son mohos comunes que se desarrollan sobre los más diversos sustratos: granos, paja, cueros, frutas, etc. Este género se caracteriza por formar estructuras microscópicas en forma de pincel, los cuales terminan en células conidiógenas llamadas fiálides. Las características taxonómicas de los penicilios suelen variar un poco, dependiendo del medio en que se siembre; en general, las colonias son circulares si no existe impedimento para su crecimiento, el borde es liso y muestra el color del micelio, por lo general suele ser de color blanco, pero hay ciertas especies en las que puede tener tonalidades de anaranjado, púrpura o pardo claro. La superficie de la colonia puede ser aterciopelada, ligeramente algodonosa o con pequeños haces de conidióforos (Revista iberoamericana de micología, 2002).

1.3 *Fusarium*

Este hongo se caracteriza especialmente por la forma y tamaño de las esporas. Las esporas están dispersas en el micelio aéreo o en esporodoquios. Los macroconidios son curvados, pluriseptados, con una célula apical y en muchas especies también existe una célula basal. Los microconidios son por lo general unicelulares, elipsoidales, similares en ancho a los macroconidios, con una base redondeada o truncada. No siempre se producen ambos tipos de esporas, esto dependerá del tipo de especie de género (Carrillo, 2003).

Las colonias de este género crecen moderada a profusamente, poseen diversos colores (blanco, rosado pálido, rojo, anaranjado, verde aceituna, pardo), especialmente en el reverso de la colonia. El micelio suele ser algodonoso como un fieltro con una zona central de funículos. Los pigmentos que difunden en el agar suelen variar de color o tono con el pH (Carrillo, 2003).

1.4. *Cladosporium*

Esporulación de tipo *Cladosporium* con cadenas largas de conidios elípticos (2-3 μm x 4-5 μm), nacidos de conidióforos ramificados, erectos y altos. Forma en cultivo colonias de color oliváceo y a veces grises o marrones; aterciopeladas, flocosas o pelosas; a veces presenta estromas. Sus conidióforos son macronematosos o semimacronematosos simples o poco ramificados, con una coloración marrón o verdosa, y de superficie lisa o ligeramente granulosa en algunas especies. Muchas de sus especies poseen ramoconidios con o sin septos. La célula conidiógena es poliblastica, generalmente integrada y simpodial; da lugar a conidios que generalmente quedan en cadenas acrópetas, o a veces se presentan solitarios. Pueden ser de forma variada (elipsoidales, limoniformes, oblongos, esféricos, subesféricos, fusiformes), con una cicatriz en la base y pueden ser unicelulares o poseer 1-3 septos transversales; poseen pared lisa, verrugosa o equinada, hialina a pigmentada, de color oliváceo a marrón oscuro (Forbes, Sahm y Weissfeld, 2012).

1.5 *Mucor*

Este hongo se caracteriza por poseer un micelio algodonoso de crecimiento rápido blanco al principio y posteriormente gris con reverso blanquecino. Microscópicamente se caracteriza por la presencia de hifas cenocíticas con esporangios largos, por lo general ramificados y esporangios redondos terminales. La pared del esporangio se rompe para liberar las esporas que suelen ser redondas o ligeramente ovaladas, la estructura reproductiva sexual corresponde a un zigospangio. Este es uno de los mohos más comunes en suelo, estiércol, vegetales en descomposición, alimentos, etc. Existen especies saprobias y patógenas para el hombre y animales superiores (Mier, Toriello y Ulloa, 2002).

1.6. *Rhizopus*

Hongo con micelio algodonoso de crecimiento rápido cuyo color al inicio es blanco y con el tiempo se torna gris o café amarillento y el reverso de la colonia es blanco grisáceo. Microscópicamente las hifas son cenocíticas, se caracteriza por un gran número de estolones entre el micelio, los cuales conectan los grupos de esporangióforos que usualmente no son ramificados. En la base del esporangióforo se forman hifas parecidas a raíces, rizoides. El esporangióforo termina en un esporangio redondo oscuro el cual contiene una columnella hemisférica y muchas esporas ovales de color café claro, las que se oscurecen al madurar. Se diferencia del género *Mucor* por la presencia de estolones, rizoides, y esporangióforos no ramificados (Mier, Toriello y Ulloa, 2002).

2. Levaduras

Las levaduras es un pequeño grupo dentro de los hongos, se caracterizan por ser heterogéneas en su morfología y fisiología; desde el punto de vista morfológico, una levadura se define como una célula que se reproduce principalmente por gemación y en algunos casos por fisión binaria. La gemación consiste en la formación de una protuberancia, la cual se va llenando de material citoplasmático, el cual proviene de la célula madre, luego se forma una pared que divide las dos células y la célula hija se desprende, mientras que la fisión binaria consiste en un proceso de división celular por medio de la duplicación de material genético, luego ocurre la proliferación de la pared celular y por último el tabicamiento, dando lugar a una célula idéntica a la madre (García, 2004).

Las levaduras se encuentran distribuidas ampliamente en la naturaleza, se localizan en el suelo, en frutas, en flores, en el aire y en el agua (García, 2004). La mayoría son saprófitas y proliferan en materia orgánica muerta; otras son parásitas facultativas u obligadas. Por lo general las levaduras producen colonias redondeadas, pálidas o mixoides en las placas de agar (Murray, 2005).

3. Factores que favorecen el crecimiento de microhongos

Existen parámetros ambientales que favorecen el desarrollo y presencia de microhongos en ambientes interiores, entre los factores que contribuyen a la aparición

de estos están: la temperatura, luz, agua, pH, salinidad y humedad (Elgido, 2004). Los microorganismos poseen rangos de tolerancia restringidos, por lo que estos factores en conjunto crean un ambiente propicio para el desarrollo de hongos, además estas condiciones son poco saludables para el personal que labora en ellos, y además pueden causar daño en estructuras y materiales presentes (Schttler, 2006).

Los principales factores que influyen en el crecimiento de hongos son la humedad y temperatura. La humedad favorece en mayor proporción el desarrollo de hongos cuando se encuentra en un porcentaje del 35 a 75%, mientras que la temperatura ideal se encuentra entre 20 a 30 °C, lo que permite a los hongos mantener su patogenicidad y viabilidad, esto debido a que la mayoría de los hongos son mesófilos (IICA, 1999).

4. Hongos como biodeteriorantes en colecciones de interés.

En el 2010 llevo a cabo un estudio en Colombia denominado: “Estudio del Microbiodeterioro del Fondo Documental Anselmo Pineda de la Biblioteca Nacional de Colombia”. En este estudio se determinó que el 85.7% de los aislamientos mostró actividad celulolítica, el 42.86% actividad amilolítica y el 47.62% proteolítica, lo que confirma la capacidad de los hongos filamentosos encontrados en las unidades del Fondo Pineda para colonizar y degradar los soportes causando el deterioro del material bibliográfico. Específicamente, llama la atención la actividad proteolítica exhibida por algunos de los aislamientos como *Cladosporium* sp. y *Mycelia sterilia* ya que muchas de las unidades documentales de otros Fondos encontrados en el depósito del Fondo Antiguo presentan encuadernaciones en pergamino, y al ser estos hongos considerados contaminantes ambientales, podrían estar implicados en el deterioro de dichos Fondos que no han sido estudiados. Cabe mencionar que los principales microhongos aislados a partir de las unidades documentales, fueron: *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp., seguidos por *Cladosporium* sp., *Paecilomyces* sp., *Trichoderma* sp. y *Rhodotorula* sp. (Manrique, Patiño y Rodríguez, 2012).

E. Calidad del aire en ambientes interiores

Los edificios son sistemas dinámicos complejos formados por múltiples factores que interactúan entre sí, los cuales influyen de forma directa con la calidad de la

atmosfera interior. Los contaminantes del aire en interiores tiene dos orígenes esenciales: el aire exterior que se introduce por los sistemas de ventilación natural o forzada en edificios y el ambiente interior originado por factores como la temperatura, humedad, luz, ruido, olores, contaminantes químicos, humo de tabaco, combustión de gases y el personal son algunos de los factores que en combinación influyen con la calidad del aire (Schttler, 2006).

En áreas cerradas que cuentan con las condiciones favorables para el crecimiento de hongos microscópicos, se ha hecho recuentos que llegan a exceder de 109 esporas/m³. En un estudio realizado en bibliotecas de Caracas y Maracay determinaron que los géneros más frecuentemente encontrados eran: *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Cladosporium sp.*, *Chaetomium sp.*, *Drechslera sp.*, *Scopulariopsis sp.*, *Chrysonilia sp.* y *Trichoderma sp.* (Hartung y Rodríguez, 1996).

En otro estudio efectuado desde febrero del 2000 hasta enero del 2001 se llevaron a cabo muestreos mensuales como parte de una investigación en la ciudad de Tucumán, Argentina. En este estudio se determinaron los hongos presentes en una biblioteca científica. Se identificaron 33 géneros de hongos. Los hongos que presentaron la mayor frecuencia fueron *Cladosporium sp.* (30.1%), *Fusarium sp.* (8.6%), *Alternaria sp.* (8.4%), *Acremonium sp.* (6.4%), y *Aspergillus sp.* (5.5%). La mayor cantidad de esporas encontradas fue en octubre y la mínima en julio. El género *Cladosporium* fue aislado en todos los meses muestreados. Cabe mencionar que a pesar de utilizar un muestreo no volumétrico, este estudio provee una información útil sobre la prevalencia de los hongos ambientales en la biblioteca testada (Bueno, Silva y Oliver, 2003).

En el año 2011 Toloza y Lizarro realizaron un estudio en el archivo central de la Universidad pedagógica de Colombia, donde se aislaron 287 colonias del ambiente, de los cuales el género fúngico más representativo fue *Mucor* con un 36.6% seguido de *Penicillium* con un 27.5%, mientras que otros géneros como *Acremonium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Curvularia* y *Geotrichum* se presentaron en baja proporción. Además de estos géneros fúngicos también se aislaron formas levaduriformes de *Candida albicans* con un 4.5%.

F. Determinación de carga fúngica

Para la realización del muestreo de aire, es importante la elección del tipo de muestreo, la técnica y los métodos a utilizar; debido a que la muestra debe de ser representativa, puesto que a partir de esta muestra se pueden detectar contaminantes del ambiente que puedan influir en la salud (Solís, 2011).

1. Métodos para la determinación de microhongos ambientales.

En la actualidad existen diversos métodos estandarizados de monitoreo del aire y diversas marcas de equipos para este propósito. Estos métodos pueden ser:

- Pasivos (gravimétricos y de impacto pasivo) y
- Procedimientos activos o volumétricos (de impacto activo y filtración activa).

De estos métodos, los únicos que permiten expresar los datos obtenidos de forma cuantitativa son los procedimientos impacto activo y filtración (Martí, Alonso y Constans, 1996).

1.1 Gravimétricos

En un principio, los captadores utilizados estaban basados en el principio de gravedad y consistían en superficies preparadas con sustancias adhesivas o retenedoras, expuestas horizontalmente. A comienzos del siglo XX se utilizaban placas de Petri, céspedes compactos de musgos y portaobjetos (García, 2010).

1.2 Captación por impacto activo

Este método utiliza un colector que aspira una cantidad asignada de aire, esta masa de aire recolectada pasa a través de poros, que luego es depositada sobre una superficie captadora, por lo general se usan medios de cultivo, aunque existen otras superficies como cinta adhesiva o incluso acetato de celulosa (Martí y otros, 1996). Entre los equipos que utilizan el principio de impacto activo se puede mencionar las diferentes marcas:

- Surface Air System, SAS compact
- Captador Burkard
- Captación por filtración activa. Captador MCV:

- MAS 100-eco

2. Condiciones de cultivo e incubación

Los medios de cultivo utilizados en Micología deben contener los nutrientes suficientes para asegurar el desarrollo y reproducción de los hongos, además de un pH ligeramente ácido (4.5 -5.5) para facilitar el crecimiento de estos e inhibir el crecimiento de otros microorganismos como las bacterias (Cañedo y Ames, 2004). Existe una variedad de medios de cultivo, los cuales están constituidos por carbohidratos, peptonas y agar; entre los más utilizados esta el Saboraud, Czapek, PDA, entre otros. En ocasiones se puede añadir antibióticos, para que haya mayor selectividad en el crecimiento. Las condiciones de incubación para hongos son similares para la mayoría de los géneros, por lo general se cultivan a temperatura ambiente (25 - 30°C) y bajo condiciones aerobias (García, 1995).

IV. JUSTIFICACIÓN

Algunos factores que contribuyen a incrementar el riesgo asociado a la contaminación por hongos microscópicos en edificaciones pueden ser la infraestructura, la ventilación, la falta de mantenimiento y las condiciones climáticas, factores que pueden ser reunidos por la infraestructura que alberga a los museos contemplados en el presente estudio. Los museos que se estudiarán contienen colecciones de gran valor histórico, entre las principales colecciones se puede mencionar las de tipo bibliográfica, zoológicas y minerales.

Estas colecciones pueden ser deterioradas por hongos microscópicos puesto que los hongos, en su mayoría saprobios, pueden obtener lo que requieren para su metabolismo de sustratos como papel, pintura y suelo, entre otros; pudiendo acelerar el proceso de deterioro de las colecciones históricas y del material de referencia que poseen dichos museos, además los museos albergan lugares de trabajo para personas, quienes pueden llegar a ser afectadas por la alta contaminación fúngica que se pudiera presentar debido al tiempo en que permanecen en su lugar de trabajo.

Por esta razón fue necesario determinar la carga fúngica en el ambiente para establecer si se mantenían niveles elevados de contaminación micológica que pudiera acelerar el proceso de deterioro, perjudicando de esta manera la integridad de las piezas expuestas en estos ambientes así como afectar la salud laboral. También fue necesaria la identificación de los microorganismos presentes para establecer los géneros predominantes en ambos museos.

V. OBJETIVOS

A. General

Determinar la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos museos de la ciudad de Guatemala

B. Específicos

1. Establecer los niveles de contaminación por hongos microscópicos en el aire a través de la carga fúngica.
2. Demostrar la presencia de hongos microscópicos en el Museo de Historia Natural y Museo de la Universidad de San Carlos a través de su aislamiento y cuantificación.
3. Documentar los diferentes géneros fúngicos aislados de los ambientes interiores y exteriores del Museo de la Universidad de San Carlos y Museo de Historia Natural a través de su identificación.

VI. HIPÓTESIS

Debido a que en la presente investigación solamente se realizó una descripción de los hallazgos encontrados no se requiere hipótesis.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Universo

Hongos microscópicos en el aire de los ambientes interior y exterior del Museo de la Universidad de San Carlos -MUSAC- y el Museo de Historia Natural –MUSHNAT-

B. Muestra

Muestreo mensual durante las horas de mayor contaminación fúngica durante seis meses en el ambiente interior y exterior de los dos museos, para un total 72 muestras para cada lugar muestreado (Biblioteca MUSAC, Mural MUSAC y MUSHNAT).

C. Recursos

1. Humanos

Asesores

Investigadores

Personal administrativo de los museos

2. Recursos institucionales

Universidad de San Carlos de Guatemala

Departamento de Microbiología

Laboratorio Microbiológico de Referencia – LAMIR-

Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Museo de Historia Natural

3. Recursos Físicos

3.1 Equipo

Autoclave

Refrigeradora

Incubadora

Campana de flujo laminar

Balanza

Estufa

Microscopio

Cámara de Quebec

Mas Eco-100

Higroscopio

Incinerador

3.2 Materiales

Agar Saboraud

Cajas de petri

Papel parafilm

Erlenmeyer

Guantes de látex

Asas en punta

Asas en argolla

Cubre objetos

Porta objetos

API 20c aux

Pipetas

Puntas azules para pipetas de

Puntas amarillas para pipetas

Contador

Marcadores permanentes

Tubos

Pinza

3.3 Reactivos

Tinción de Gram

Azul de Lactofenol

D. Metodología

1. Selección de las áreas de muestreo

El principal parámetro para seleccionar el área de muestreo fue la condición de dicha área, se tomó en cuenta factores como: polvo, humedad, grietas sobre la pared, entre otras, tanto para el área interna como para el área externa. La cantidad de puntos a muestrear vario dependiendo del museo a muestrear. Para

el MUSAC se seleccionarán doce puntos (seis para el vestíbulo y seis para la biblioteca), los cuales están distribuidos en seis internos y seis externos (Anexos A, B, C). En cuanto al MUSHNAT se tomó un total de seis puntos, tres internos y tres externos (Anexo D). En los puntos seleccionados se cuantificó las unidades formadoras de colonias (Cantillo y otros, 2002).

2. Selección de la hora de muestreo

Para determinar la hora en que se encuentran mayor cantidad de hongos microscópicos en el aire, se realizó un muestreo de seis horas consecutivas. Para posteriormente seleccionar únicamente la hora de máxima contaminación fúngica en cada uno de los ambientes y realizar el muestreo periódico de seis meses. El muestreo se realizó por duplicado, utilizando agar Saboraud (Solís, 2011).

3. Medio de cultivo

El agar Sabouraud fue el utilizado para el cultivo, aislamiento e identificación de hongos. El medio contiene glucosa, la cual es elemental para los dermatofitos, mientras que si se es rico en maltosa promueve el crecimiento de mohos y levaduras. Este agar no contiene inhibidores de microorganismos no deseados, solamente el pH ácido actúa como tal. (Merk, 1994).

4. Procedimiento de toma de muestra

- a. Cargar la batería del el equipo MAS-100 Eco®
- b. Preparar todo el material a utilizar (cajas de petri con agar Saboraud, hidroscoPIO, MAS-100 Eco®, alcohol, algodón y equipo de bioseguridad personal)
- c. Revisar los parámetros de volumen de aire del MAS-100 Eco®, (100L/minuto)
- d. Limpiar la superficie sobre la cual se colocará la caja de medio de cultivo así como la superficie.
- e. Colocar la caja de petri con el medio de cultivo hacia arriba y tapan el MAS-100 Eco®
- f. Iniciar la toma de muestra presionando el botón inicio y esperar un minuto a que se termine el proceso.
- g. Levantar la tapadera del MAS-100 Eco®, retirar la caja de petri.

- h. Tapar la caja de petri y sellarla con parafilm. (Merk/Eurolab/Brussels.s.f., Manual de uso del MAS-100 Eco®) (Merk, s.f)

5. Conteo de colonias fúngicas y determinación de UFC/m³

- a. Colocar la muestra recolectada en caja de petri sobre la superficie rayada.
- b. Ajustar la lupa de la cámara de Quebec.
- c. Usar contador para realizar el recuento de las colonias emergentes y marcar cada una de estas con un marcador indeleble.
- d. Realizar este procedimiento en el tercer, quinto y séptimo día.
- e. Realizar media entre las dos replicas de cada uno de los puntos
- f. Convertir el dato obtenido (UFC/ml) a UFC/m³ utilizando la tabla provista por el fabricante en el manual de uso del equipo (Mier, Toriello y Ulloa, 2002).

6. Purificación de colonias

- a. Limpiar la campana de flujo laminar y colocar dentro de ella todo el material a utilizar.
- b. Observar las cajas muestreadas el quinto día 2012y marcar la colonia de interés.
- c. Flamear el asa en punta y tomar la colonia de interés, trasladarla a una nueva caja con agar Sabouraud, colocándola en el centro.
- d. Incubar la caja de tres a cinco días a una temperatura de 25°C (Mier, Toriello y Ulloa, 2002).

7. Preparación de cultivo el lamina para identificación de género fúngico

- a. Limpiar la campana de flujo laminar y colocar dentro de ella todo el material a utilizar.
- b. Tomar una caja de agar Saboraud y cortar cuadritos de agar de 1 cm
- c. Tomar dos cuadros separados de agar con asa de espátula y colocarlos en los extremos del portaobjetos que se encuentra en la caja de petri
- d. A partir del aislamiento de la colonia de interés, tomar una asada y colocarla en los extremos del cuadrito de agar Saboraud.
- e. Colocar cubre objetos sobre el cuadrito de agar Saboraud.
- f. Agregarle 5 ml de agua estéril a la caja de petri.
- g. Incubar a 25°C por 7 días (Forbes, Sahm y Weissfeld,).

8. Identificación microscópica de géneros fúngicos

- a. Colocar dos gotas de azul de Lactofenol sobre un cubreobjetos limpio
- b. Colocar los cubreobjetos del cultivo en lamino sobre las gotas de azul de Lactofenol.
- c. Descartar el cuadro de agar, y colocar una gota de azul de Lactofenol sobre el lugar donde estos se encontraba.
- d. Colocar cubreobjetos sobre las gotas
- e. Observar al microscopio y hacer la identificación (Cañedo, y Ames, 2004).

9. Descripción macroscópica de géneros fúngicos

- a. A partir de un cultivo puro, observar el anverso, anotar las características (borde, aspecto, consistencia, superficie, tipo de crecimiento y presencia de exudado) en el formato de caracterización de géneros fúngicos (Anexo E).
- b. Luego observar el reverso, anotar las características (color borde, superficie, tipo de crecimiento y pigmentación) en el formato de caracterización de géneros fúngicos (anexo E).
- c. Tomar fotografía del anverso y del reverso (Cañedo, y Ames, 2004).

10. Identificación de levaduras

- a. Limpiar la campana de flujo laminar y colocar dentro de ella todo el material a utilizar.
- b. Colocar 5 ml de agua esterilizada en la cámara de incubación.
- c. Colocar galería de pozos dentro de la cámara individual.
- d. Colocar 2 ml de agua estéril dentro de un tubo estéril para realizar una suspensión de levaduras de turbidez equivalente al estándar de Mc.Farland 2
- e. Transferir 100 μ L de la suspensión anterior a una ampolla API C.
- f. Colocar 200 μ L de la suspensión anterior en cada capsula de la galería de pozos
- g. Cerrar la cámara e incubar a 25°C de 48 a 72 horas.
- h. Realizar la primera lectura a las 48 horas, observar si existe turbidez, lo cual indica crecimiento de levaduras. Leer nuevamente a las 72 horas.
- i. Si el pozo de glucosa no ha reaccionado, incubar por 6 horas mas

- j. Ingresar el código obtenido en el programa para identificación de levaduras (Biomerieux, 2010).

E. Diseño de la investigación

El presente seminario se derivó del proyecto FODECYT 28-2011 “Evaluación de la calidad del aire en algunos museos y herbarios de la ciudad de Guatemala”, en dicha investigación se investigó la calidad del aire de algunos lugares de importancia científica y cultural para Guatemala.

Es un estudio de tipo descriptivo que se llevó a cabo en dos museos de la ciudad de Guatemala (MUSAC y MUSHNAT), el estudio comprendió un período de seis meses (octubre, noviembre y diciembre de 2011 y enero, febrero y marzo de 2012)

F. Análisis estadístico

Se realizó un análisis utilizando estadística descriptiva, documentando la carga micológica (UFC/m³) determinada en los diferentes ambientes y meses muestreados, cabe mencionar que para cada uno de los recuentos fúngico mensuales se expresa la desviación estándar (obtenida de los tres puntos de cada ambiente y las dos réplicas de cada punto, n=12). También se presenta la frecuencia de los géneros fúngicos caracterizados por mes, lugar y ambiente. Los resultados son presentados en tablas, y para la elaboración de las tablas se utilizó el paquete de Microsoft Office 2007.

VIII. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del estudio sobre la contaminación del aire por hongos microscópicos en el Museo de la Universidad de San Carlos –MUSAC- y el Museos de Historia Natural -MUSHNAT

A. Selección de hora de mayor contaminación

Para la selección de la hora de mayor contaminación se realizó un muestreo de seis horas consecutivas. En el cuadro 1 se muestran los resultados de las cargas fúngicas obtenidas tanto en el interior como en el exterior del MUSAC. Se observa que la mayor contaminación se registró a las 13:00 y 14:00 horas para el ambiente interior y exterior respectivamente (anexo 5.1).

Cuadro 1. Unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC/m³) acumuladas para selección de máxima contaminación en el MUSAC.

Hora	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
Interior	910	810	750	890	930	900
Exterior	390	290	430	400	430	940

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

En el cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos durante el muestreo para seleccionar la hora con mayor contaminación fúngica en el MUSHNAT. Los datos indican que la hora de mayor contaminación en el interior fueron las 13:00 horas en el ambiente interior y las 14:00 horas en el exterior (anexo 5.2).

Cuadro 2. Unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC/m³) acumuladas para selección de máxima contaminación en el MUSHNAT.

Hora	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
Interior	1220	1450	1710	1580	2350	2110
Exterior	110	1350	1800	1370	1500	4050

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

B. Carga fúngica y porcentaje de humedad

Después de haber seleccionado la hora con mayor contaminación fúngica se procedió a realizar seis muestreos mensuales en los cuales también se determinó el porcentaje de humedad relativa (%HR).

El cuadro 3 presenta el porcentaje de humedad relativa y la carga fúngica en cada uno de los meses muestreados en la biblioteca del MUSAC. En octubre se registró la mayor contaminación del ambiente interior con un valor de $1230 \text{ UFC/m}^3 \pm 65$ de desviación estándar así como el mayor porcentaje de humedad relativa (65%). Por otra parte, en el ambiente exterior se cuantificó la mayor contaminación fúngica en diciembre ($1010 \text{ UFC/m}^3 \pm 66$) paralelamente al mayor porcentaje de humedad relativa (66%) registrado en este museo (anexo 5.3).

Cuadro 3. Carga fúngica en el aire y porcentaje de humedad relativa en la biblioteca del MUSAC.

Mes	Interior			Exterior		
	^a UFC/m ³	^b DS	^c %HR	UFC/m ³	DS	%HR
Octubre	1230	32	65	450	9	64
Noviembre	770	16	60	410	7	57
Diciembre	1070	12	63	1010	24	66
Enero	420	13	56	350	16	51
Febrero	670	8	60	340	7	50
Marzo	430	14	55	300	6	41

a: Promedio de carga fúngica expresada en unidades formadores de colonia por metro cúbico (n=12); b: desviación estándar c: porcentaje de humedad relativa.

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

En el vestíbulo del MUSAC, según la tabla 4, se registraron los valores más altos de contaminación por hongos microscópicos en diciembre; sin embargo, ninguno de estos valores sobrepasó las 1000 UFC/m^3 . En el ambiente interior, los valores más elevados fueron de $970 \text{ UFC/m}^3 \pm 19$ de desviación estándar y 66 %HR, mientras que en el exterior los valores fueron de $790 \text{ UFC/m}^3 \pm 24$ y 64 %HR. Los valores mínimos se obtuvieron en

enero tanto para el interior como para el exterior siendo estos de 180 ± 5 y 90 ± 2 UFC/m³ respectivamente (anexo 5.4).

Cuadro 4. Carga fúngica en el aire y porcentaje de humedad relativa del vestíbulo MUSAC.

Mes	Interior			Exterior		
	^a UFC/m ³	^b DS	^c %HR	UFC/m ³	DS	%HR
Octubre	390	4	57	420	6	64
Noviembre	350	7	56	390	3	58
Diciembre	970	19	66	790	24	64
Enero	180	5	54	90	2	50
Febrero	420	4	60	370	6	53
Marzo	880	66	61	330	3	50

a: Promedio de carga fúngica expresada en unidades formadores de colonia por metro cúbico (n=12); b: desviación estándar c: porcentaje de humedad relativa.

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

En el MUSHNAT, según el cuadro 5, los niveles de contaminación por hongos variaron en el interior y exterior. Para el interior la mayor carga fúngica se obtuvo en octubre con $2570 \text{ UFC/m}^3 \pm 103$ de desviación estándar, lo que concuerda con el mayor porcentaje de humedad relativa obtenido en los puntos interiores, el cual fue de 60%. En el exterior el mes de mayor carga micológica fue diciembre, $1540 \text{ UFC/m}^3 \pm 56$ y un porcentaje de humedad relativa de 60%. En tanto que, enero fue el mes que presentó menor carga fúngica, tanto para el interior como para el exterior con valores de 540 ± 28 y $180 \pm 7 \text{ UFC/m}^3$ respectivamente (anexo 5).

Cuadro 5. Carga fúngica en el aire y porcentaje de humedad relativa en el MUSHNAT.

Mes	Interior			Exterior		
	^a UFC/m ³	^b DS	^c %HR	UFC/m ³	DS	%HR
Octubre	2570	121	60	630	29	47
Noviembre	630	9	47	480	4	45
Diciembre	1600	20	48	1540	56	60
Enero	540	28	44	180	7	45
Febrero	1800	26	54	1310	49	50
Marzo	2510	103	58	1350	5	58

a: Promedio de carga fúngica expresada en unidades formadores de colonia por metro cúbico (n=12); b: desviación estándar c: porcentaje de humedad relativa.

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

C. Géneros fúngicos predominantes

Como se muestra en el cuadro 6, los géneros *Penicillium sp.*, *Cladosporium sp.* y *Aspergillus sp.* fueron aislados durante los seis meses de la investigación, de estos el que presentó un mayor porcentaje fue *Penicillium sp.*, tanto en el interior como en el exterior del MUSAC. Las levaduras y otros géneros como *Fusarium sp.*, no fueron aislados en todos los meses muestreados y su frecuencia fue menor comparada con los tres géneros mencionados anteriormente (anexo 6 y 7).

Cuadro 6. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el interior y exterior del MUSAC.

		%					
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
INTERIOR	<i>Penicillium</i> sp.	18	50	28	74	38	22
	<i>Cladosporium</i> sp.	14	6	34	12	54	57
	<i>Aspergillus</i> sp.	14	25	38	11	3	17
	<i>Fusarium</i> sp.	18	13	0	1	2	2
	Levaduras	0	0	0	2	1	0
	Otros	36	6	0	0	2	2
	TOTAL	100	100	100	100	100	100
EXTERIOR	<i>Penicillium</i> sp.	51	40	42	68	31	29
	<i>Cladosporium</i> sp.	12	5	26	11	54	56
	<i>Aspergillus</i> sp.	25	20	32	20	10	14
	<i>Fusarium</i> sp.	0	5	0	0	3	0
	Levaduras	0	0	0	0	1	0
	Otros	12	30	0	1	1	1
	TOTAL	100	100	100	100	100	100

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

El cuadro 7 muestra los géneros encontrados en el interior y exterior del MUSAC en cada uno de los meses muestreados, se observa que el género *Penicillium* sp., fue aislado a lo largo de todos los meses de investigación y en mayor porcentaje; otros géneros aislados durante todos los meses muestreados fueron *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp., aunque con menor cantidad. El que se aisló en menor frecuencia comparado con los géneros antes mencionados fue *Fusarium* sp. y no se encontró presente en todos los meses, este es el mismo caso de las levaduras y otros géneros (anexo 8 y 9).

Cuadro 7. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el interior y exterior del MUSHNAT.

	Género	%					
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
INTERIOR	<i>Penicillium</i> sp.	40	81	20	48	21	30
	<i>Cladosporium</i> sp.	20	10	39	23	58	45
	<i>Aspergillus</i> sp.	40	7	18	28	17	11
	<i>Fusarium</i> sp.	0	1	5	0	3	0
	Levaduras	0	1	1	1	1	14
	Otros	0	0	17	0	0	0
	TOTAL	100	100	100	100	100	100
EXTERIOR	<i>Penicillium</i> sp.	39	42	28	49	26	17
	<i>Cladosporium</i> sp.	23	18	38	29	58	70
	<i>Aspergillus</i> sp.	16	18	18	13	12	8
	<i>Fusarium</i> sp.	0	4	4	0	2	5
	Levaduras	0	18	0	2	2	0
	Otros	22	0	12	7	0	0
	TOTAL	100	100	100	100	100	100

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Museo de la Universidad de San Carlos -MUSAC-

La calidad del aire interior de una edificación es afectada por un número diverso de factores, muchos de ellos están relacionados a la infraestructura, decoración de la edificación, temperatura interna y humedad, además del ingreso de contaminación externa, e inevitablemente, la contaminación por microorganismos, especialmente de tipo fúngico. La colonización por microorganismos, su dispersión y cantidad depende del microclima del interior (Goyer, N. Lavoie, J. Lazure, L. y Marchand, G. 2001).

La importancia de haber realizado inicialmente un muestreo de seis horas consecutivas en el ambiente interior y exterior de cada uno de los museos fue seleccionar la hora en la cual se encontraba mayor contaminación ocasionada por hongos microscópicos en el aire y de esta manera realizar seis muestreos mensuales que permitieran monitorear los niveles de dicha contaminación.

La hora en la cual se encontró una mayor carga fúngica, según el gráfico 1, fue las 13:00 horas en el ambiente interior y las 14:00 horas para el exterior. La diferencia encontrada en la hora que presentó una mayor contaminación en cada uno de los ambientes puede deberse a las condiciones meteorológicas y las actividades que se llevan a cabo dentro del museo. En este museo algunas de las fuentes de contaminación micológica pueden ser los artefactos mismos, el polvo, los bioaerosoles, la infraestructura, las repisas de madera y los gabinetes. La mayoría de los artefactos que se resguardan en este lugar son propensos a ser colonizados por hongos microscópicos debido a que parte de la composición de los mismos son carbohidratos y proteínas, que proveen un buen medio de crecimiento fúngico (Kowalik, R. 1984). Por otra parte, en el ambiente exterior se estableció por Burch, M y Levetin, E. en el 2002, que una combinación del aumento de la temperatura, punto de presión de aire, velocidad del viento, y el rocío son el predictor más preciso de un incremento en la cantidad de esporas. La combinación de estos factores pudieron contribuir a incrementar la carga fúngica del ambiente exterior durante las 14:00 horas.

Wanner y otros en 1993 establecieron cinco categorías para niveles de contaminación basados en la cantidad de unidades formadoras de colonias por metro

cúbico (UFC/m³). Las categorías descritas por los autores fueron muy baja (<25 UFC/m³), baja (25 - 100 UFC/m³), intermedia (100-500 UFC/m³), alta (500-2000 UFC/m³) y muy alta (>2000 UFC/m³). De acuerdo a esta clasificación, el interior del MUSAC puede ser catalogado como un ambiente con contaminación intermedia y alta debido a que los valores oscilaron entre 180 ± 5 y 970 ± 19 UFC/m³. Estos valores se registraron en enero y diciembre, respectivamente, lo cual puede estar relacionado con la periodicidad de limpieza del lugar, puesto que en enero se realizó una limpieza exhaustiva para iniciar las labores del año. Es importante notar que los niveles de contaminación no sobrepasaron las 1000 UFC/m³ en ninguno de los meses muestreados, lo cual permitiría disminuir estos niveles realizando determinadas modificaciones en las instalaciones tales como: reducir el porcentaje de humedad relativa e incrementar la periodicidad de la limpieza.

Así mismo, se cuantificó la carga micológica en la biblioteca del Libro Antiguo cuyo objetivo es rescatar y poner a consulta libros editados desde el siglo XVII hasta publicaciones de mediados del siglo XX. En el gráfico 3 se observa que los valores del interior oscilaron entre 420 ± 56 y 1230 ± 65 UFC/m³. Los valores anteriores evidencian la contaminación provocada por hongos microscópicos en este ambiente, el cual también es catalogado como contaminación “alta” (Wanner y otros, 1993). Es importante hacer notar que el crecimiento obtenido fue paralelo al porcentaje de humedad relativa, el cual tuvo un rango de 55-65 (%HR), a pesar que él %HR se encuentra por debajo de lo que Gallo (1993) considera como el rango óptimo (60-90%) que permiten el desarrollo de microorganismos.

Dentro de los factores que contribuyen al crecimiento de hongos se encuentra la humedad, la cual es medida en términos de porcentaje de humedad relativa. En una investigación realizada por Michalski en el 2009, se indicó que el porcentaje de humedad relativa influye directamente sobre el crecimiento de hongos microscópicos (Michalski, 2009), como se observa en la tabla 4, en este ambiente los valores de humedad relativa, concuerdan con lo investigado, ya que la mayor carga fúngica se observa paralelamente al mayor porcentaje de humedad relativa. La ventilación es otro factor que también puede tener efectos sobre la contaminación de este ambiente. Es de hacer mención que a pesar que la infraestructura de este local presenta ventanas y puertas, la única fuente de aire del exterior es una puerta, lo que tiene como resultado un aporte insuficiente de aire fresco

exterior y puede dar lugar a depósitos de contaminantes biológicos que pueden servir de sustrato para los microhogos. (NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire).

Los géneros considerados causantes de contaminación micológica en bibliotecas, museos y archivos incluyen *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Geotrichum* sp., *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Mucor* sp., *Rhizopus* sp., *Trichoderma* sp. y *Fusarium* sp. Estos también son conocidos por ser fuente de afecciones, por ejemplo las enfermedades alérgicas (Eggleston, P. y Bush, K. 2001). Los géneros fúngicos que predominaron tanto en el MUSAC como en la Biblioteca del Libro Antigo durante el período muestreado fueron en orden de prevalencia *Penicillium* sp. (41%), *Cladosporium* sp. (28%), y *Aspergillus* sp. (19%). Los datos anteriores concuerdan con los reportados por Herrera y otros en el 2011 quienes encontraron una mayor prevalencia de *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. en ambientes interiores y exteriores en cuatro laboratorios del departamento de Guatemala (Herrera, K. y otros, 2011).

Los géneros mencionados son conocidos por ser ubicuos y se debe señalar que las esporas fúngicas son frecuentemente encontradas, tanto en ambientes interiores como en exteriores, debido a que presentan resistencia a la sequedad y poseen la habilidad de sobrevivir y germinar en condiciones ambientales favorables y de colonizar incluso ambientes hostiles (Hjelmroos, M. 1993). En la literatura se han reportado consistentemente como inadmisibles diferentes géneros, entre los que se encuentran *Stachybotrys alba*, *S. chartarum*, *Aspergillus flavus* y *A. fumigatus* (AIHA, 1986). Sin embargo, en esta investigación solamente se identificó el género *Aspergillus* sp., el cual presentó una frecuencia del 19% durante el muestreo.

En otro estudio realizado en una biblioteca científica situada en un centro de investigación en Argentina de febrero 2000 a enero 2001, se obtuvieron los siguientes resultados, *Cladosporium* sp. (30.1%), *Fusarium* sp. (8.6%), *Alternaria* sp. (8.4%), *Acremonium* sp. (6.4%), y *Aspergillus* sp. (5.5%). Como se puede observar los géneros *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp. fueron aislado en todos los meses muestreados, de igual manera que en el presente estudio. A pesar de utilizar un muestreo no volumétrico, el estudio realizado en Argentina provee información útil sobre la prevalencia de los hongos ambientales en bibliotecas (Bueno, Silva y Oliver, 2003).

Con respecto a las levaduras, *Criptomococcus albidus*, *C. laurntti* y *Rhodotorula mucilaginosa* se aislaron en enero y febrero. Cabe mencionar que estas levaduras solamente se aislaron en el interior lo que concuerda con el estudio realizado por Toloza, Lizarro y Blanco en 2012, quienes en un estudio para determinar la composición microbiana del ambiente de una biblioteca en Colombia encontraron presencia de *Rhodotorula* y *Candida*. Por otra parte, los géneros que se encuentran dentro de la clasificación “otros” del gráfico 6 son: *Trichopyton*, *C. cladosporioides*, *Scopulariopsis brevicaulis* y *Rhizopus* los cuales se aislaron durante el período muestreado, con excepción de enero y diciembre.

B. Museo de Historia Natural -MUSHNAT-

La importancia de monitorear la calidad microbiológica del aire en este museo reside que en él se albergan colecciones de importancia científica, tecnológica y cultural, además de ser un lugar de interés histórico, por lo que es necesario establecer la carga fúngica presente en estos ambientes. Aunque en condiciones estándares la microbiota del aire puede coexistir con los objetos y colecciones de valor histórico sin causar mayor daño, en el momento que se produce un cambio inadecuado en las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) los microorganismos pueden tener efectos negativos, causando biodeterioro (Florian,2002).

Como se observa en el cuadro 2 la hora que presentó mayor carga fúngica en el interior fue a las 13:00 horas mientras que para el exterior fue a las 14 horas, en ambos casos la mayor carga fúngica se presentó durante la tarde, lo que concuerda con la influencia de factores ambientales como temperatura, corrientes de aire, altitud y humedad entre otras (De la Rosa, Mosso y Ullán, 2002), también las actividades propias del lugar influyen en la concentración fúngica, como los son la cantidad de personas presentes, rutinas de limpieza y condiciones del lugar.

En el cuadro 5 se observa que en octubre se obtuvo la mayor concentración para el ambiente interior, siendo esta de 2570 ± 121 UFC/m³ mientras que para el ambiente exterior la mayor carga obtenida fue en diciembre, presentado una concentración de 1540 ± 56 UFC/m³. La carga elevada se correlaciona de forma adecuada con el porcentaje de humedad obtenido para cada lugar, el cual fue de 60%. Se considera que un porcentaje de humedad entre 35 a 75% favorece la proliferación y desarrollo de las esporas de hongos

(Herráez y Buces, 2004), generando así una mayor concentración de estas. Para el ambiente interior hay que considerar que debido a las colecciones que el museo posee (la mayoría animales disecados), la cantidad de materia orgánica es elevada, favoreciendo el crecimiento, ya que muchos hongos obtienen energía a partir de este substrato (Giraldo, Torres y Díaz, 2009), además muchas de las piezas no se encuentran en buen estado por falta de mantenimiento y limpieza, provocando que se acumule polvo en ellas; también la poca circulación de aire que existe en los cuartos que las albergan puede contribuir a que permanezcan las esporas y proliferen cuando existen las condiciones adecuadas (Hartung y Rodríguez, 1996). En el ambiente exterior, una posible causa del aumento en la concentración de hongos pudo ser la cercanía que existe con el jardín botánico. La humedad que existe en dicho lugar, la presencia de plantas que favorecen su acumulación y las corrientes de aire, pueden desplazar las esporas de un sitio a otro.

Se aislaron varias especies de hongos, algunas de ellas pueden causar deterioro en las piezas de las colecciones, por lo que su identificación es de suma importancia para evitarlo. Como se observa en el cuadro 7, los géneros identificados principalmente fueron *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp. y algunas levaduras como *Rhodotorula mucilaginosa*. Estos géneros fúngicos se encuentran presentes en ambientes externos, aunque no exclusivamente ya que también se han encontrado en ambientes internos, lo que está de acuerdo con los resultados encontrados en esta investigación, generalmente esto ocurre por la corriente de aire que pasa del exterior hacia el interior, la cual lleva consigo microorganismos y esporas que se depositan y proliferan (Bueno, Silva y Oliver, 2003). Otro factor influyente para la presencia de hongos en los ambientes fue la humedad, como se observa en el cuadro 5, el rango de humedad relativa (40% - 60%) registrada durante los meses de muestreo, corresponde al rango de humedad ideal (35% a 75%) (Herráez y Buces, 2004), por lo que este factor favoreció a la proliferación de las esporas, aumentando así la concentración de hongos en el lugar.

Penicillium sp. fue uno de los géneros que predominó a lo largo de todos los meses muestreados, tanto en el interior como en el exterior del lugar, esto debido a que la acumulación de polvo, la presencia de materia orgánica y la humedad relativa alta presente en el lugar, favoreció la proliferación de este género (Mier, Toriello y Ulloa, 2002). También esto concuerda con lo encontrado en un estudio realizado en el Archivo Municipal de

Cárdenas, Cuba (García y Sánchez, 2012) en el cual *Penicillium* sp. se aisló en un 53%, siendo este el género que predominó en el estudio. Otro de los géneros predominantes durante los seis meses de la investigación fue *Cladosporium* sp. lo que coincide con el estudio realizado por Bueno, Silva y Oliver en el 2003 en una biblioteca de Argentina, en donde este hongo se aisló durante el tiempo que se llevó a cabo el muestreo (febrero 2000 a enero 2001); este género es considerado saprobio y suele encontrarse sobre materia orgánica, debido a esto es necesario su control y prevención en estos lugares para evitar que cause daño en las piezas de gran valor histórico y cultural. El tercer género predominante fue *Aspergillus* sp., el cual es un hongo comúnmente encontrado en ambientes interiores, especialmente en lugares tropicales y subtropicales por tal motivo es común encontrar este género en Guatemala, ya que este país es considerado una región sub tropical (Esquivel, Mangiaterra, Giusiano y Sosa, 2003).

Por último, se aisló al género *Fusarium* sp (cuadro 7), aunque no se presentó durante todos los meses. Este género es más frecuente durante las primeras horas de la mañana (Méndez, Seijo e Iglesias, 2005), lo cual pudo influir en la disminución de su aislamiento debido a que las horas de máxima contaminación eran vespertinas. Otros géneros menos frecuentes fueron *Scopulariopsis brevicaulis*, *Mucor* sp. y *Paecilomyces* sp.

Así también, se aislaron levaduras en el interior y exterior del MUSHNAT durante la mayoría de los meses a excepción de octubre en donde no se realizó ningún aislamiento de este tipo (cuadro 7). Las levaduras que identificadas fueron: *Geotrichum klebahnii*, *Candida fomata*, *Rhodotorula mucilaginosa* y *Cryptococcus humicola*. Las levaduras se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza (Carrillo, 2003), esta es la razón por la cual se obtuvieron varios aislamientos de levaduras a lo largo del estudio.

X. CONCLUSIONES

- A. Tanto el MUSAC como el MUSHNAT presentan contaminación del aire por hongos microscópicos.
- B. El nivel máximo de contaminación fúngica en el Museo de la Universidad de San Carlos fue de 1230 UFC/m³ y 1010 UFC/m³ para el interior y exterior, respectivamente.
- C. El nivel máximo de contaminación fúngica determinada en el Museo de Historia Natural para el interior y exterior fue de 2570 UFC/m³ ±121 y 1540 UFC/m³ ± 56, respectivamente.
- D. Se demostró la presencia de hongos microscópicos en el interior del MUSAC, siendo los géneros fúngicos con mayor prevalencia *Penicillium* sp. 38.3%, *Cladosporium* sp. 29.5% y *Aspergillus* sp. 18%; en el exterior los géneros predominantes fueron *Penicillium* sp. 43.5%, *Cladosporium* sp. 27.3% y *Aspergillus* sp. 20.2%.
- E. Se demostró la presencia de hongos microscópicos en el interior del MUSHNAT, siendo los géneros fúngicos con mayor prevalencia *Penicillium* sp. 40%, *Cladosporium* sp. 32.5% y *Aspergillus* sp. 21.2%; en el exterior los géneros predominantes fueron *Cladosporium* sp. 39.3%, *Penicillium* sp 33.5%, y *Aspergillus* sp.14.16%.
- F. Los géneros fúngicos documentados fueron *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Criptococcus* sp., *Rhodotorula* sp., *Trichopyton* sp., *Scopulariopsis* sp., *Rhizopus* sp., *Paecylomyces* sp., *Geotrichum* sp. y *Candida* sp.

RECOMENDACIONES

- A. Capacitar constantemente al personal que labore y/o que esté a cargo de las colecciones de los museos en técnicas para los cuidados y mantenimiento de las mismas.
- B. Implementar un registro diario de temperatura y humedad relativa para llevar un mejor control de las variaciones que ocurren en estos factores ambientales y así visualizar si existe una tendencia y poder tomar una acción correctiva pertinente.
- C. Monitorear constantemente los niveles de contaminación fúngica existentes en estos museos, para poder tomar medidas correctivas o preventivas y así evitar el deterioro de las piezas de las colecciones que ahí se albergan.
- D. Llevar a cabo estudios de tipo analítico que permitan establecer el riesgo que tienen los trabajadores de estos museos.
- E. Llevar a cabo un monitoreo de los ambientes, después de implementar medidas de prevención de deterioro.
- F. Realizar más estudios por periodos de tiempo más prologando, para evaluar la calidad del aire en otra épocas del año.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Biomerieux. (2010) API® 20 C AUX. *Sistema de Identificación de levaduras*.
- Bueno, D., Silva, J. y Oliver, G. (2003). *Hongos ambientales en una biblioteca: un año de estudio*. *Anales de Documentación*. Recuperado de: <http://revistas.um.es/analesdoc/article/view/2061>. p. 1
- Cantillo, B., Arango, L., Cuello, S., Núñez, L., Echeverría, C., Fundora, D... Aldazabar, M. (2002). *Estudio y control del deterioro en el museo provincial "Palacio de Junco"*. *Revista Avanzada Científica*. 5(3). p. 6
- Cañedo, B. y Ames T. (2004). *Manual de laboratorio para manejo de hongos entomopatógenos*. Perú. Editorial Centro Internacional de la papa. p. 19 – 20
- Carrillo, L. (2003). *Los hongos de los alimentos y forrajes*. Recuperado de: <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micologia.htm>. Universidad Nacional de Salta
- Cortez, J. (2007). *Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo* (9ª.Ed). España:Tébar. p. 7
- De León, S. (2011, marzo 11). *Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos funciona con Q.2 mil 600 mensuales*. El periódico, p. 14
- Eggleston P, Bush K: *Environmental allergen avoidance: An overview*. *J Allergy Clin Immunol* 2001, 107, 403-405.
- Elgido, M. (2004). *Jornadas Monográficas. Prevención del biodeterioro en archivos y bibliotecas*. Recuperado de: <http://www.mcu.es/patrimonio/docs/MC/IPHE/M0901-02-4-2-PDF2.pdf>. p. 8
- Floria, M. (2002). *Fungal Facts. Solving fungal problems in heritage collections*. Archetype Publications. Londres. p. 2

- Forbes, B y Sahm D. (2009). *Diagnostico Microbiológico*. Madrid, España: Panamericana. (12ª Ed.).. p. 80
- Forbes, B., Sahm, D. y Weissfeld, A. (2012). Bailey & Scott. *Diagnóstico Microbiológico*. México: Panamericana. 12º edición.. p. 79
- Gallo F. (1993). Aerobiological research and problems in libraries. *Aerobiologia*, 9: 117-130
- García, J. (2010). *Detección de los niveles de proteínas alergénicas en el aire de Olea europea (Ole e 1) Cuantificación por métodos inmunológicos*. (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Cartagena. p. 1
- García, V. (1995). *Introducción a la Microbiología* (2ª. Ed.). Editorial Universidad Estatal a Distancia Costa Rica. p. 67 – 68
- García, V. (2004). *Introducción a la microbiología*. Editorial Universidad estatal a distancia. Segunda edición. Costa Rica. P. 45
- García, M. y Sánchez, R. (2012). *Estudio de la concetracion fúngica aérea de los depósitos del Archivo Municipal de Cárdenas, Cuba*. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. p. 33.
- Giraldo, M., Torres, C. y Díaz, J. (2009). *Aislamiento de hongos celulolíticos causantes de l biodeterioro de la Biblioteca Central de la Universidad del Valle (Cali-Colombia)*. Revista Mexicana de Micología. Mexico. p. 11.
- Goyer, N. Lavoie, J. Lazure, L. y Marchand, G. (2001): *Bioaerosols in the Workplace: Evaluation, Control and Prevention Guide*. Montreal.
- Guatemala. Congreso de la República de Guatemala. (1986). *Decreto Número 68-86. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*. Guatemala

- Hartung, C. y Rodríguez, P. (1996). *Frecuencia de hongos en el ambiente de dos bibliotecas en Venezuela*. Boletín informativo de la Sociedad Venezolana de Microbiología. 16(2). p.112.
- Herrera, K. Cobar, O. De León, J. Jauregui, J. Rodas, A., Gudiel, H... Maas. (2009). *Impacto de la calidad microbiológica del aire externo en el ambiente interno en la salud ocupacional de cuatro laboratorios de instituciones públicas en la ciudad de Guatemala y Bárcenas, Villa Nueva*. FODECYT. p. 70
- Herrera, K., Cobar, O., De León, J., García, M., Boburg, S., López, R... Solís, E. (2011). *Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de ciencias químicas y farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos*. Revista científica. 20(1). pp. 69 – 81.
- Hjelmroos M: *Relationship between airborne fungal spore presence and weather variables*. Grana 1993, 32, 40-47.
- Instituto Interamericano de Corporación para la Agricultura. (1999). *Seminario Taller hacia una producción bio racional de la Yuca*. Bolivia. IICA. p. 1
- Klanova, K. (2000). *The concentrations of mixed populations of fungi in indoor air: rooms with and without mould problems, rooms with and without health complaints*. Cent Eur Jour Pub Health. p. 59
- Korc, M. y Sáenz, R. (1999) *Monitoreo de la calidad del aire en América Latina*. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/monitlac/monitlac.pdf>
- Kowalik R: *Microbiodegradation of library materials. Microbiodecomposition of auxiliary materials*. Restaurator 1984, 6, 106
- Laboratorio de Monitoreo del Aire. (2010) *Informe anual 2010. Monitoreo del aire en la ciudad de Guatemala*. p. 3

- Manrique, A., Patiño, M. y Rodríguez, M. (2012). *Estudio del Microbio deterioro del Fondo Documental Anselmo Pineda de la Biblioteca Nacional. Pontificia Universidad Javeriana*. Colombia. p.1
- Martí, M.C. Alonso, R.M. y Constans, A. (1996). *Determinación de polen y esporas en aire interior*. Revista Salud y Trabajo. 115. p. 6
- Merck. (s.f.), *Manual operativo MAS-100 Eco*. Brucelas.
- Merck. (1994). *Microbiology Manual*.
- Michalski, S. (2009). *Humedad Relativa Incorrecta*. ICCROM.
- Mier, T., Toriello, C. y Ulloa, M. (2002). *Hongos microscópicos saprobios y parásitos: métodos de laboratorio*. Editorial Universidad Autónoma de México. México DF. p. 4
- Mosso, M. y Ullan, C. (2002). *El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos*. Revista Observatorio medioambiental. 5(4). p.375.
- Murray, R., Pfaller, A. y Rosenthal, S. (2002) *Microbiología Médica*. Editorial Elsevier. Quinta edición. México. p. 56
- Negroni, M. (2009). *Microbiología estomatológica, fundamentos y guía práctica (2ª. Ed)*. Argentina. Editorial médica panamericana. p. 2
- Oliva, P. (2008). *Calidad del Aire en Guatemala. Compilación de la Información Existente*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. pp. 2-3
- REDCAMUS. (2010). *Red Centroamericana de Museos*. Recuperado de: http://www.museoscentroamericanos.net/guatemala_museos/museo_universidad/museo_san_carlos.htm#top

Revista iberoamericana de micología. (2002). *Hongos y actinomicetos alergénicos*. Bilbao. Recuperado de <http://hongos-alergenicicos.reviberoammicol.com/>

Sáenz, M. (2002). *Tratado de la contaminación atmosférica*. Madrid: Editorial Mundi-Prensa Libros, S.A.

Schtler, T. (2006). *Efectos de los edificios sobre la salud: ¿Qué es lo que sabemos?* Reunión del Instituto de Medicina (IOM). Recuperado de: http://www.rniu.buap.mx/infoRNIU/may09/4/Efectos_edificios.pdf

Solís, E. (2011). *Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores del laboratorio de investigación en productos naturales ubicado en el edificio T-10 en la Ciudad Universitaria en zona 12 y el laboratorio ubicado en zona 1 del Centro de Información y Asesoría Toxicológica del departamento de toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la universidad de San Carlos de Guatemala*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. p. 18

Tolosa, D. y Lizarazo, L. (2011). *Aeromicrobiología del archivo central de la Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia (Tunja – Boyacá)*. Revista de la Universidad Nacional de Colombia. 16(1) p. 186

Tolosa, D. y Lizarazo, L. y Blanco J. (2012) Concentración y composición microbiana en el ambiente de la biblioteca central Jorge Palacios Preciado de la Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. *Actual Biol* 34 (97) 241-252

Universidad Rafael Landívar –URL- (2003). *Informe Técnico No. 5. Estado Actual del Clima y la Calidad del Aire en Guatemala*. p. 2

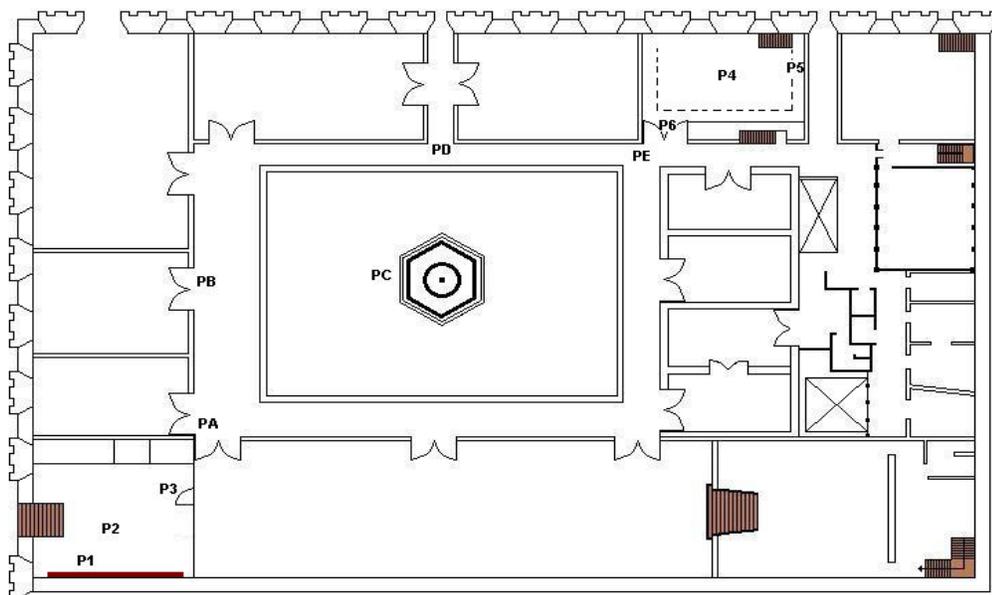
Wanner. H, Verhoeff. A, Colombi A, Flannigan B, Gravesen S, Mouilleseux A, Nevalainen A, Papadakis J & Seidel K. (1993). *Biological particles in indoor environments. Indoor air quality and its impact on man*. Commission of European Communities, Brussels.

Zielińska-Jankiewicz K, Kozajda A, Piotrowska M, (2008). *Microbiological contamination with moulds in work environment in libraries and archive storage facilities*. Ann Agric Environ Med 2008;15:71–8.

Zuck, M., Tzintun, G., Rojas, R. (2007). *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*. México. Editorial de la Secretaria de medio ambiente y Recursos Naturales

XII. ANEXOS

A. Diseño del MUSAC y puntos de muestreo

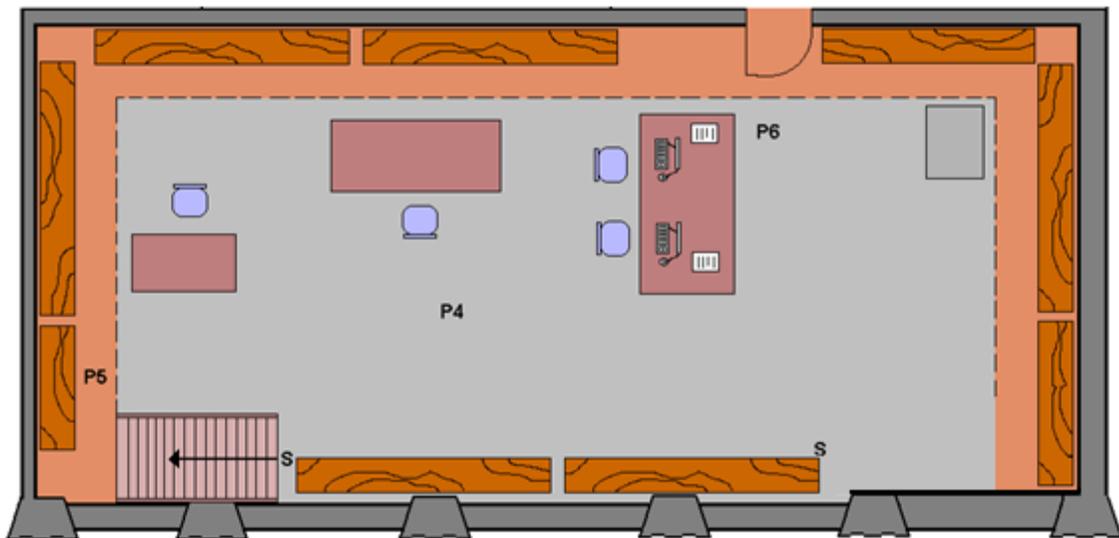


Este es el esquema general del Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual cuenta con una estructura de concreto, piso de piedra, techo de concreto con estructuras de arcos. En el centro del patio se encuentra una fuente y no se encuentra techada esta área. Las puertas de los distintos salones que se encuentran a su alrededor son de madera. También se encuentran ubicados en los pasillos algunos bustos y macetas con plantas decorativas.

Los puntos a muestrear, que en total son once, se encuentran ubicados en dos salones del museo. El primero salón es un vestíbulo cuya característica principal

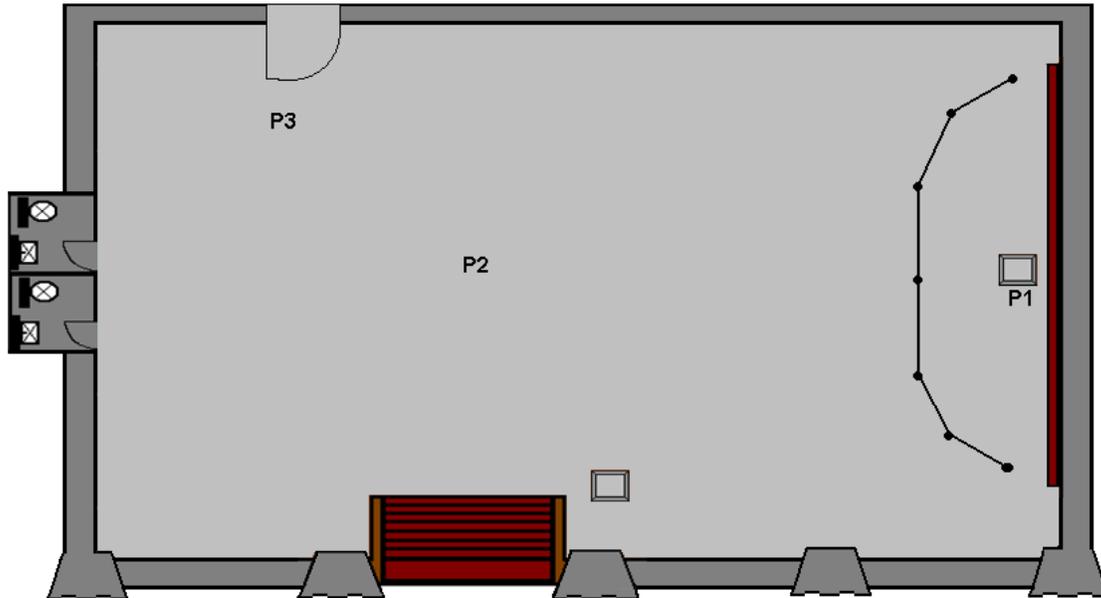
es contener el mural “Tierra Fértil” ahí se encuentran los puntos P1, P2, P3. El otro salón es una biblioteca, la cual alberga una colección de libros antiguos, ahí se ubican los puntos P4, P5, P6. Los puntos exteriores, PA, PB, PC, PD, PE, se encuentran ubicados en los pasillos y patio del museo.

B. Diseño de la Biblioteca del MUSAC y puntos de muestreo



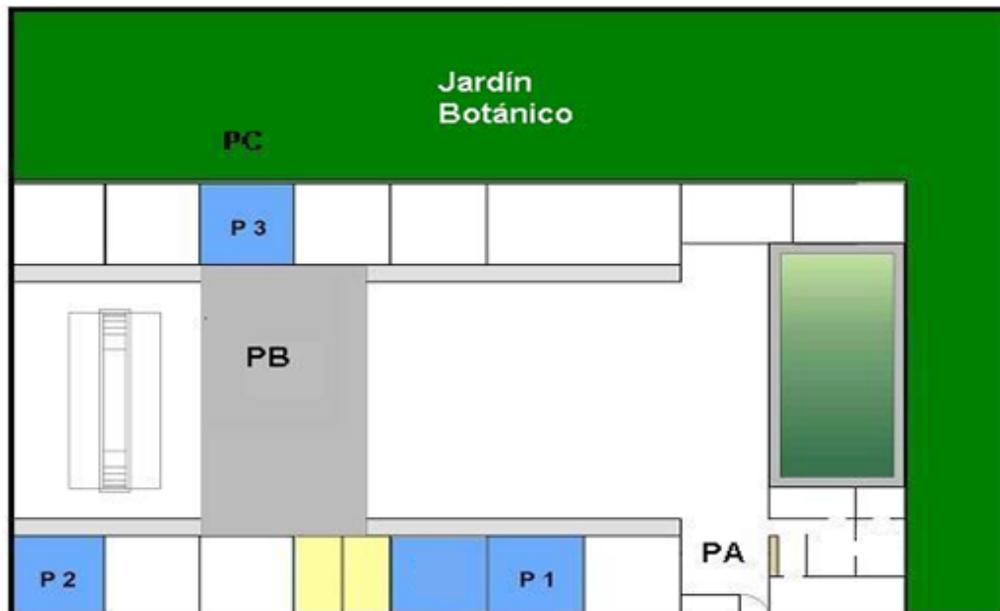
La biblioteca se encuentra ubicada en una de las esquinas del edificio del Museo de la Universidad de San Carlos. La biblioteca cuenta con una planta baja y una planta alta. En ambos niveles se encuentran ubicadas estanterías de madera a lo largo de las paredes. El piso de la planta baja es de piedra laja mientras que el del segundo nivel es de madera. Las escaleras son de madera con barandales del mismo material. Cuenta con tres escritorios de madera. La puerta es de madera y no cuenta con ningún tipo de ventanas. En el techo existe una bóveda, ubicada al centro.

C. Diseño del Vestíbulo del MUSAC y puntos de muestreo



El vestíbulo se encuentra ubicado en la esquina opuesta a la entrada principal. El piso es de piedra laja, las paredes son de concreto con un zócalo de madera. El cuarto cuenta con dos puertas, ambas de madera, la puerta que se ubica sobre la 10^o calle se mantiene cerrada la mayor parte del tiempo, además esta entrada cuenta con gradas, sobre ellas se encuentra una alfombra, mientras que la otra puerta, conecta al auditorium principal del MUSAC. En el mismo salón se encuentran ubicados los sanitarios, con los servicios básicos. Frente a los sanitarios se encuentra un mural, el cual está pintado al fresco con cubierta de pintura vinílica. En el cuarto se mantienen permanentemente dos deshumidificadores.

D. Diseño del-MUSHNAT- y puntos de muestreo



El Museo de Historia Natural está formado por doce salones de exposiciones, el piso de los salones es de granito, las paredes son de concreto y las puertas son de metal. El punto uno es el salón de rocas y minerales, cuenta con seis estanterías de madera y vidrio, además de tres vitrinas del mismo material, el techo es de madera, las ventanas son lisas y con bisagras. El punto dos es el cuarto de insectos, este cuarto cuenta con muebles de madera y con ventanas lisas, el techo es de concreto. El punto número tres es el cuarto de peces, este cuarto colinda por la parte posterior con el jardín botánico. Cuenta con estanterías de madera, con repisas del mismo material y una vitrina, el techo es de cielo falso.

El exterior del jardín cuenta con pasillos con piso de granito y techo de madera, las paredes son de concreto. En el centro se encuentra un área verde, la cual cuenta con mesas bajo techo y con jardines y árboles pequeños

E. Caracterización macroscópica

Código de la cepa: _____

Características del anverso

Color anverso: _____

Borde: Liso Ondulado Irregular Ciliado
Ramificado Lanudo En forma de hilo En forma de piso Otros _____

Aspecto: Liso rugoso polvoso veloso Cerebriforme
lanoso flocoso Pulverulento algodonoso Aterciopelado
Brillante Otros: _____

Consistencia: Dura Blanda Mucoide Elástica Otros: _____

Superficie: Plana Convexa Otros: _____

Tipo de crecimiento: Redonda Redondo con Redondo con Redondo con
margen dentado margen elevado margen radial
Rugoso Concéntrica Filiforme Rizoide
Compleja Irregular Formal Filamentosa

Exudado: Si No

Características del reverso

Color reverso: _____

Borde: Liso Ondulado Irregular Ciliado
Ramificado Lanudo En forma de hilo En forma de piso Otros _____

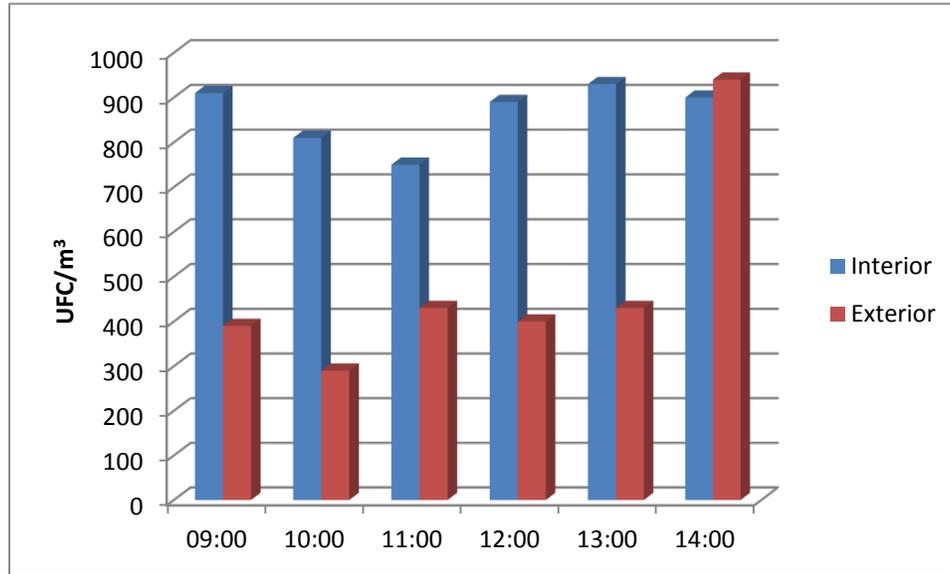
Superficie: Plana Convexa Otros: _____

Tipo de crecimiento: Redonda Redondo con Redondo con Redondo con
margen dentado margen elevado margen radial
Rugoso Concéntrica Filiforme Rizoide
Compleja Irregular Formal Filamentosa

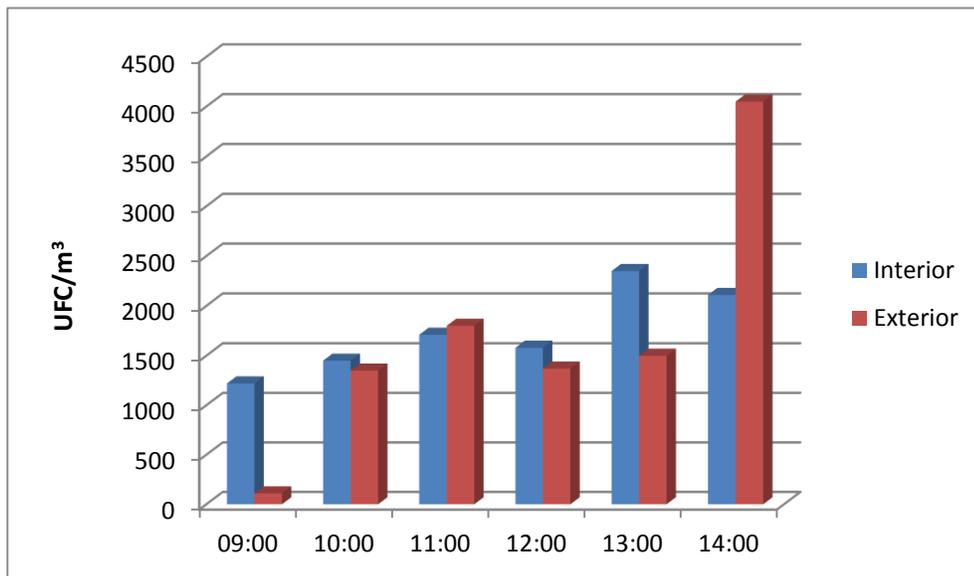
Pigmentación: No Si , Color: _____

F. Gráficas de resultados

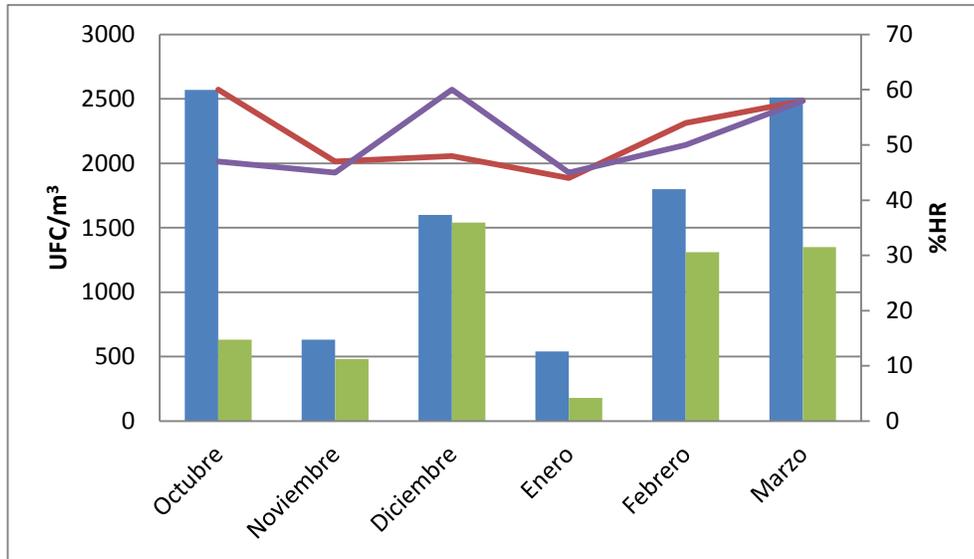
Gráfica 1. Unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC/m³) acumuladas para selección de máxima contaminación en el MUSAC.



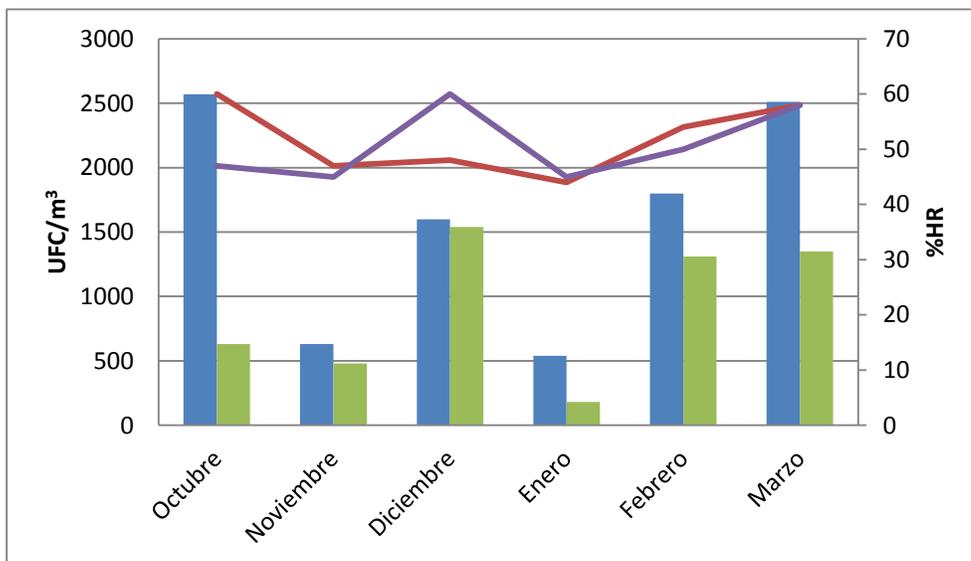
Gráfica 2. Unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC/m³) acumuladas para selección de máxima contaminación en el MUSHNAT



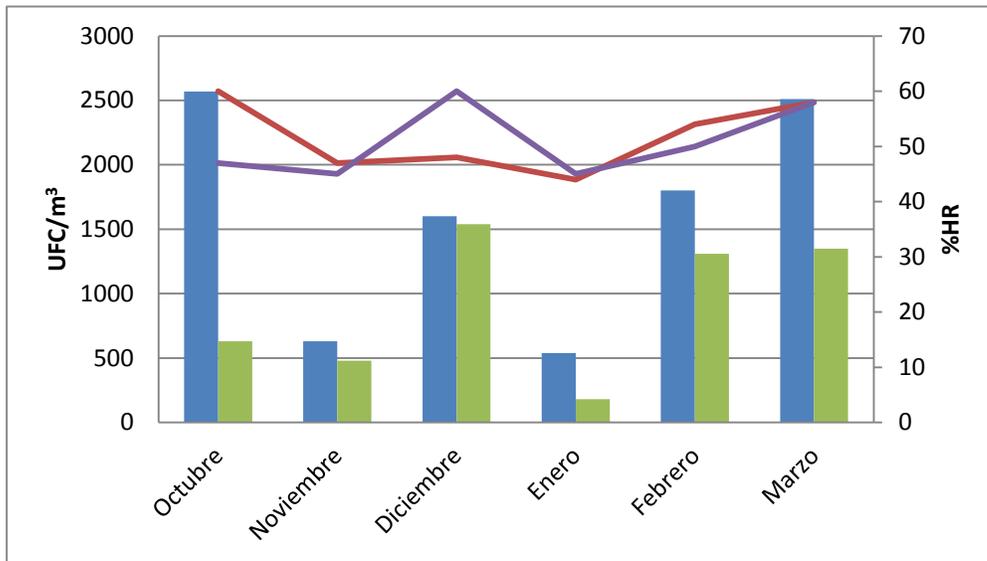
Gráfica 3. Promedio de carga fúngica en el aire y porcentaje de humedad relativa en la biblioteca del MUSAC



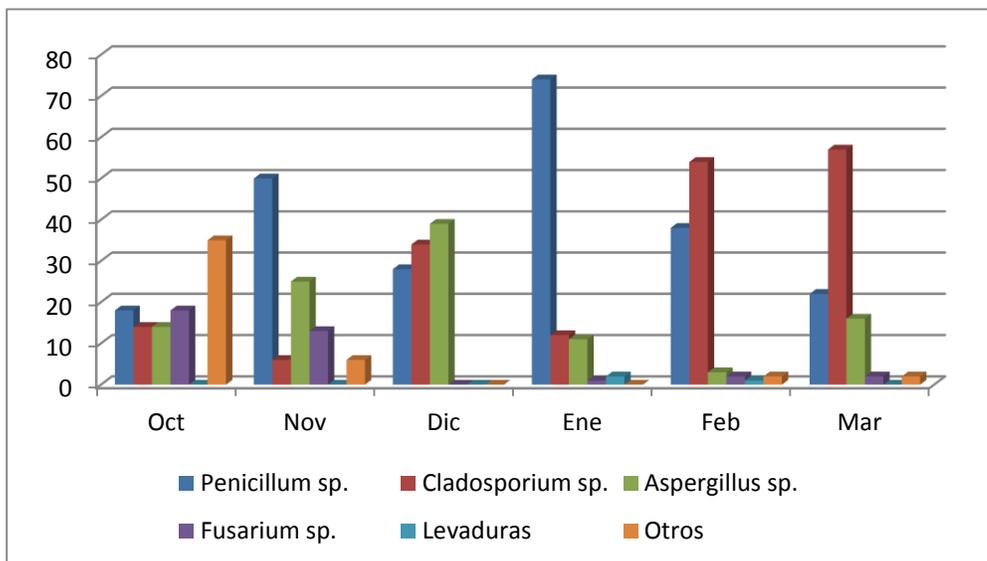
Gráfica 4. Promedio de carga fúngica en el aire y porcentaje de humedad relativa en el vestíbulo del MUSAC



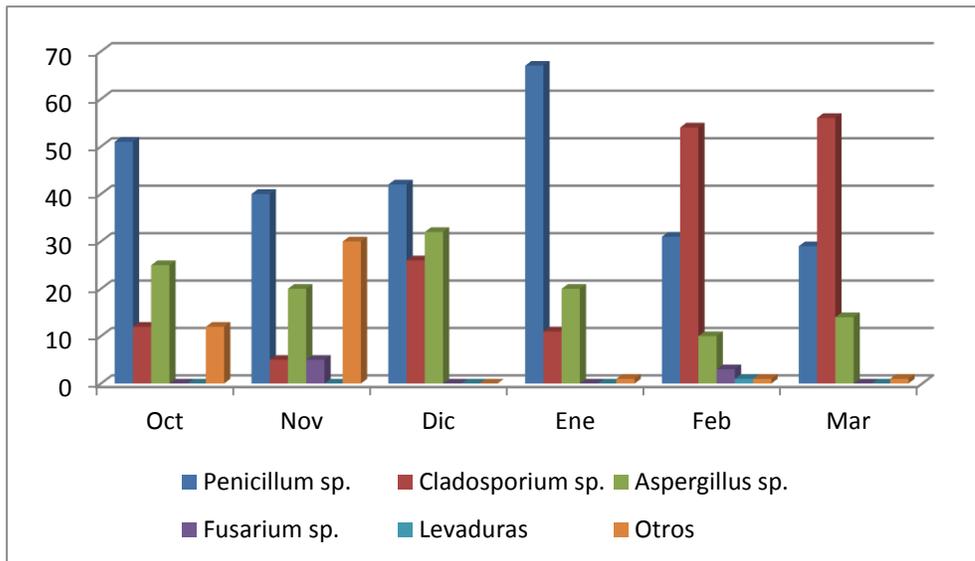
Gráfica 5. Promedio de carga fúngica en el aire y porcentaje de humedad relativa en el MUSHNAT



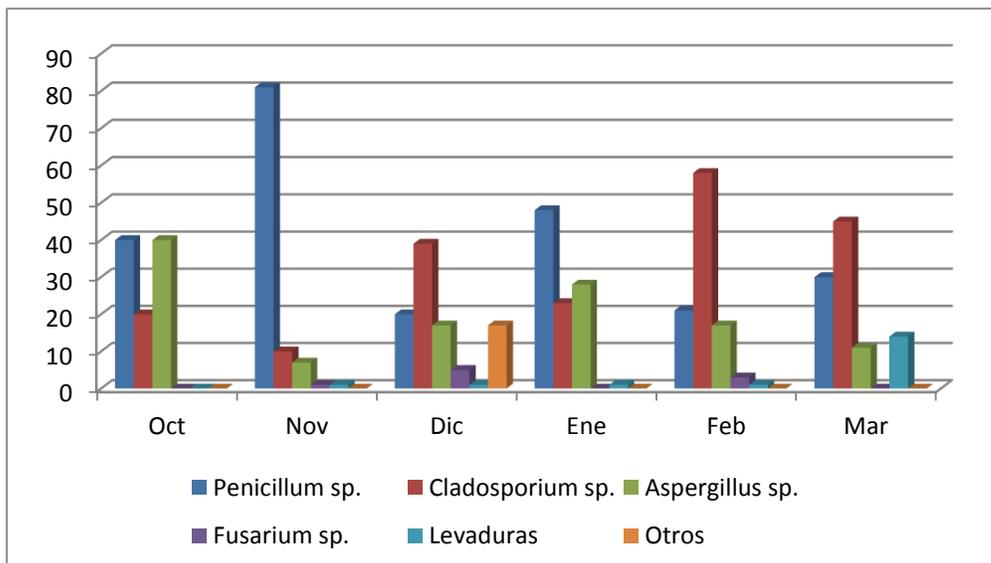
Gráfica 6. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el interior del MUSAC



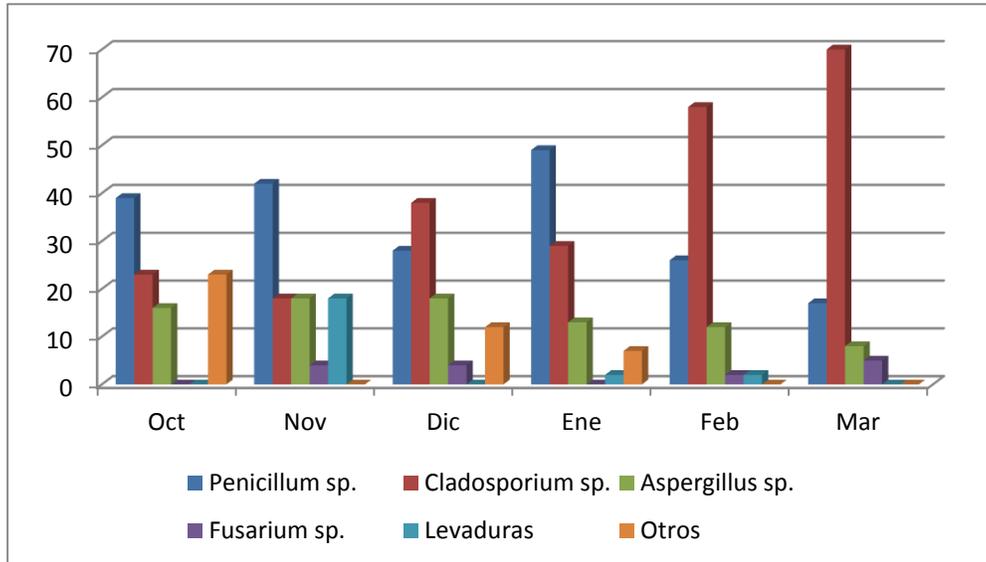
Gráfica 7. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el exterior del MUSAC



Gráfica 8. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el interior del MUSHNAT



Gráfica 9. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el exterior del MUSHNAT





Julio Alberto Paxtor Caté
Autor



Maritza Haydee Moreno Batres
Autora



Dra. Karin Herrera
Asesora



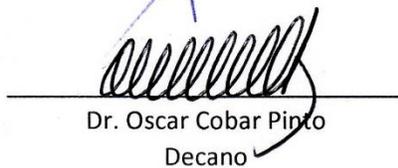
M.A. Wendy Chamalé
Coasesora



Licda. María Del Carmen Bran
Revisora



M.A. María Eugenia Paredes
Directora de Escuela



Dr. Oscar Cobar Pinto
Decano